

# Notat 2: Magnetiske materialer og magnetisering

Viktige begrep i forbindelse med magnetiske materialer defineres i læreboka (Young & Freedman = Y&F) i kapittel 28.8, men det er flere mangler. Størrelser som magnetisering  $\vec{M}$  og magnetisk feltstyrke  $\vec{H}$  bør alle som studerer elektromagnetisme kjenne til, derfor foreleses dette. Kapittel 26.1-26-5 i den norske læreboka Lillestøl, Hunderi og Lien går omtrent så langt som i forelesningene. Regneoppgaver finnes i øving 10, 11 og 12.

I følgende oppsummering merk analogien med dielektriske media (Notat 1 og 4)!

A.Mikkelsen 18.2.16.

## Oppsummering av definisjoner og noen likninger:

$\vec{M}$  = magnetisering, også kalt magnetisk dipoltetthet fordi den kan defineres:  $\vec{M} = \frac{N\vec{\mu}}{V}$ , der  $N$  er antall magnetisk dipolmoment  $\vec{\mu}$  i volumet  $V$ . De magnetiske dipoler kan enten være permanente eller induserte av et "ytre"  $H$ -felt ( $H$ -feltet er definert nedenfor) Enhet:  $[M] = \text{A/m}$ .

$\chi_m$  = magnetisk susceptibilitet. Definert ved  $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$  ( $\vec{M}$  øker proporsjonalt med magnetisk feltstyrke  $\vec{H}$ , definert nedenfor). Enhet:  $[\chi_m] = 1$  (dimensjonsløs, dvs. et tall).

$\mu$  = (magnetisk) permeabilitet. Definert ved  $\mu = (1 + \chi_m)\mu_0$ , der  $\mu_0$  er tomromspermeabiliteten ( $\chi_m = 0$  i tomrom). Enhet:  $[\mu] = \text{H/m} = \text{Vs}/(\text{Am}) = \text{Tm}/\text{A}$ .

$\mu_r$  = relativ permeabilitet, definert  $\mu_r = \mu/\mu_0 = 1 + \chi_m$ . I Y&F brukes symbol  $K_m$ . Enhet:  $[\mu_r] = 1$  (dimensjonsløs).

$\vec{H}$  = magnetisk feltstyrke (også kalt magnetisk intensitet). Dette er egentlig "rotstørrelsen" i magnetismen idet strøm i leder, i spole osv. produserer en viss  $H$  ifølge Biot-Savarts lov, som f.eks.  $H$ -feltet i avstand  $r$  fra en rett leder som fører strøm  $I$ :  $H(r) = \frac{I}{2\pi r}$ . Ved symmetriske strømfordelinger brukes Amperes lov isf. Biot-Savarts lov.

$\vec{B}$  = magnetisk flukstetthet (ofte kalt det magnetiske feltet, men ikke kall det feltstyrke, som er navnet på  $H$ ). I et rom med en viss feltstyrke  $H$  vil det bli en magnetisk flukstetthet avhengig av hvor mye magnetisering det er, ifølge:  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$ , og det er mange alternative uttrykk:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi_m \vec{H} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}.$$

## Gauss' lov for $\vec{B}$

$$\text{Integralform: } \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{differensialform: } \text{div } \vec{B} = 0 \quad (1)$$

som er et uttrykk for at det ikke finnes magnetisk kilde eller sluk, dvs. ikke magnetiske monopoler. Da er alle magnetiske feltlinjer lukkede kurver. Samme lov gjelder for  $\vec{H}$ .

## Amperes lov for $\vec{H}$ i magnetostatikken

$$\text{Integralform: } \oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{s} = I_{\text{incl}} \quad \text{differensialform: } \text{curl } \vec{H} = \vec{J} \quad (2)$$

der  $I_{\text{incl}}$  er netto strøm gjennom flata innenfor den lukkede kurva  $\Gamma$  og  $\vec{J}$  er strømtettheten i et punkt. Dersom vi har tidsvarierende felt får vi fra Faradays lov et tillegg på høyre side, se Notat 4: Maxwells likninger.

## Amperes lov for $\vec{B}$ i magnetostatikken

Ved å putte inn sammenhengen  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  i Amperes lov for  $\vec{H}$  får vi Amperes lov for  $\vec{B}$ . Vi må bruke verdi for  $\mu$  i det aktuelle materialet. I de aller fleste materialer kan vi bruke  $\mu = \mu_0$ , eneste unntaket er ferromagnetiske materialer der  $\mu = \mu_r \mu_0$  har stor verdi.

Men vær forsiktig i ferromagnetiske materialer fordi sammenhengen ikke er lineær: (1) Magnetiseringen  $M$  går i metning typisk rundt  $M_s = 1,5 \cdot 10^6 \text{ A/m}$  og (2) vi har hysteres, dvs. ulike forløp for  $B$  om vi har stigende  $H$ -felt eller avtakende  $H$ -felt. I praksis betyr dette altså:  $\vec{B} = \mu_r(t, H) \mu_0 \cdot \vec{H}$ , der  $t$  er tida.

**Permanentmagneter** består av ferromagnetisk materiale med magnetisering  $\vec{M}$  selv uten "ytte"  $H$ -felt. Dvs.  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = 0 + \mu_0 \vec{M}$ . Men fortsatt er strømsløyfer kilden til magnetismen ved at de atomære elektronbanene danner små strømsløyfer ("bundne" strømmer) med magnetiske moment  $\mu$  og totalt er  $M = \frac{N\vec{\mu}}{V}$ .